

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Diagnostika hydraulického obvodu pily

Diagnostics of hydraulic circuit of Sawing machine

Student: Tomáš Zajíček  
Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Lumír Hružík

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Tomáš Zajíček**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení

Téma:

Diagnostika hydraulického obvodu pily  
Diagnostics of Hydraulic Circuit of Sawing Machine

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte schéma hydraulického obvodu pily pro vyřezávání vzorků z výkovků v hale provozu Vítkovice Heavy Machinery dle současného stavu. Proved'te porovnání výkresové dokumentace obvodu se skutečným stavem.
2. Popište funkci hydraulického obvodu pily.
3. Navrhněte způsob diagnostiky hydraulického obvodu pily dle požadavků zadavatele. Navrhněte vhodné snímače.
4. Proved'te měření a vyhodnocení požadovaných veličin ve zvolených diagnostických místech.

Seznam doporučené odborné literatury:

- WILL, D.; GEBHARDT, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, 4. vyd. 450 s. ISBN 978-3-540-79534-6.
- KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha: SNTL, 1990. 160 s. ISBN 80-03-00308-3.
- EXNER, H., FREITAG, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 1, Grundlagen und Komponenten der Fluidtechnik Hydraulik*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1991. ISBN 3-8023-0619-8.
- PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 1. Kapaliny v hydraulických mechanismech. Hydrostatické převodníky*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2009, 2. vyd., 156 s. ISBN 978-80-248-0857-4.
- PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Lumír Hružík**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Morávek

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry

---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. V práci byly použity podklady, jež vyžadují souhlas autora, který přikládám v příloze.

V Ostravě ..... 13.5.2014

.....  
Tomáš .....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Выска́я шко́ла ба́ньска́я – Техни́кая универси́та Остра́ва (да́ле же́н „VŠB-TUO“) ма́я пра́во невѣ́дѣле́чнѣ́ кѣ́ сво́ей внутрі́шней потре́бѣ́ бакала́рскую пра́цу у́жѣ́т (§ 35 одст. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сже́днано́, же́ с VŠB-TUO, в́ случа́е́ за́йма́ з́ же́е́й стра́ны, уза́вѣ́ру ли́цен́ный с́млоу́ву с́ о́пра́внѣ́ніе́м у́жѣ́т дѣ́ло в́ ро́зс́аху § 12 одст. 4 ау́торскѣ́го за́кона.
- bylo sjednáno, že užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же́ о́де́взда́ніе́м сво́ей пра́це́ соу́хласі́м се́ з́ве́ре́жнѣ́ніе́м сво́ей пра́це́ по́дле́ за́кона́ ч. 111/1998 Сб., о́ вы́со́кых́ шко́лах́ а́ о́ з́ме́нѣ́ а́ до́плнѣ́ні́ да́лѣ́йших́ за́ко́новъ (за́кон о́ вы́со́кых́ шко́лах́), ве́ з́нѣ́ні́ по́здѣ́йѣ́йших́ пре́дписѣ́въ, бе́з о́хле́ду на́ вы́сле́де́к же́е́й о́бха́йобы́.

V Ostravě: 13.5.2014

Tomáš  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Zajíček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Výškovická 147, 70030 Ostrava

## Poděkování:

Zde bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Lumíru Hružíkovi a konzultantu Ing. Martinu Morávkovi za jejich odborné rady a vedení při psaní této práce. Také děkuji svým blízkým za jejich podporu při studiu.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZAJÍČEK, T. *Diagnostika hydraulického obvodu pily: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 46 s. Vedoucí práce: Hružík, L.

Bakalářská práce se zabývá diagnostikou hydraulického obvodu pily v hale provozu Vítkovice Heavy Machinery. První část je věnována přehledu současného stavu technické diagnostiky. Druhá část se zabývá popisem strojního zařízení a hydraulického systému pily. V třetí části je pozornost upřena na přípravu diagnostiky a návrh vhodných prostředků k jejímu provedení. A v poslední části je popsán průběh diagnostiky a vyhodnocení všech výsledků měření.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ZAJÍČEK, T. *Diagnostics of Hydraulic Circuit of Sawing Machine: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulics Equipment, 2014, 46 p. Thesis head: Hružík, L.

The bachelor thesis deals with the diagnosis of hydraulic circuit saws in the lobby of operation Vitkovice Heavy Machinery. The first part is devoted to a review of the current state of technical diagnostics. The second part describes the machinery and hydraulic system of the saw. In the third section, attention is focussed on the preparation of diagnosis and proposal for appropriate resources for its implementation. And in the last section describes the process of diagnosis and evaluation of measurement results.



# Obsah

Seznam použitých veličin a jednotek.....	8
Úvod.....	9
1 Přehled diagnostiky strojních zařízení.....	10
1.1 Diagnostika funkční a testovací .....	10
1.2 Senzory.....	11
1.3 Druhy diagnostiky zařízení .....	11
2 Popis stroje a jeho hydraulického obvodu.....	12
2.1 Popis strojního zařízení VOKA pily .....	12
2.2 Řezné operace strojního zařízení .....	13
2.3 Popis hydraulického obvodu .....	14
3 Příprava diagnostiky hydraulického obvodu .....	17
3.1 Kontrola funkčního schématu pily .....	17
3.2 Způsobilost obvodu k diagnostice.....	17
3.3 Zařízení pro měření hydraulického obvodu .....	18
3.4 Navržené snímače a jejich parametry .....	20
4 Diagnostika hydraulického obvodu .....	23
4.1 Měření průběhů tlaků a proudu elektromotoru .....	24
4.2 Měření teplot v hydraulickém obvodu .....	32
4.3 Měření stavu pracovní kapaliny .....	34
5 Závěr.....	42
6 Seznam použité literatury .....	44
7 Seznam příloh.....	46



## Seznam použitých veličin a jednotek

Značka	Název veličiny	Jednotka
$I$	Proud	[A]
$P$	Výkon	[W]
$Q$	Průtok	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$Q_{max}$	Maximální průtok hydrogenerátory	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$Q_{1,2}$	Maximální průtok hydrogenerátorem	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$Re$	Reynoldsovo číslo	[1]
$U$	Napětí	[V]
$V$	Objem	[dm <sup>3</sup> ]
$d$	Vnitřní průměr vedení	[m]
$d_h$	Vnitřní průměr hadice	[m]
$l$	Délka vedení	[m]
$l_c$	Délka hadic	[m]
$p$	Tlak	[Pa]
$p_0$	Plnicí tlak akumulátoru	[Pa]
$p_{max}$	Maximální tlak	[Pa]
$t_t$	Teplota	[°C]
$t$	Čas	[s]
$v$	Střední rychlost proudění ve vedení	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_{1,2}$	Rychlost proudění v hadici	[m.s <sup>-1</sup> ]
$n$	Otáčky	[s <sup>-1</sup> ]
$\Delta p_{zt}$	Tlaková ztráta ve vedení	[Pa]
$\lambda$	Součinitel tření ve vedení	[1]
$\lambda_{TURB}$	Součinitel tření v hadicích	[1]
$\rho$	Měrná hmotnost pracovní kapaliny	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\nu$	Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]

# Úvod

Předmětem bakalářské práce je bezdemontážní diagnostika hydraulického obvodu Voka pily určené pro vyřezávání zkušebních vzorků z výkovků v hale provozu Vítkovice Heavy Machinery. Zjišťován byl stav hydraulického obvodu pily za běžných provozních podmínek pomocí moderních diagnostických nástrojů.

Před měřením jsem se seznámil s funkcí hydraulického obvodu a funkcí strojního zařízení jako celku. Byla provedena kontrola funkčního schématu obvodu pily a porovnání této dokumentace se současným stavem hydraulického obvodu. Došlo k aktualizaci případných změn v obvodu do výkresové dokumentace. Při kontrole obvodu bylo vyhodnocováno, je-li obvod způsobilý k použití diagnostických prostředků. Hydraulický systém prošel revizí a doplněním vhodných měřících míst.

Také byl navržen způsob diagnostiky hydraulického obvodu a vhodné snímače. Provedená měření ve zvolených diagnostických místech byla vyhodnocena a výsledky měření graficky znázorněny a zaneseny do vhodných tabulek.

## Cíl práce

Cílem práce je diagnostikovat hydraulický obvod pily v hale provozu Vítkovice Heavy Machinery. Porovnat výkresovou dokumentaci se současným stavem a popsat funkci hydraulického obvodu pily. Navrhnout způsob diagnostiky hydraulického obvodu pily, vhodné snímače a měřicí přístroje. Provést potřebná měření a vyhodnotit měřené veličiny v jednotlivých diagnostických místech.

# 1 Přehled diagnostiky strojních zařízení

Technická diagnostika přináší objektivní informace o provozním stavu stroje a také o potřebách jeho údržby či průběhu jeho funkčního provozu. S blížící se případnou havárií, se může provoz stroje zastavit. Technická diagnostika je rychle modernizována technickými prostředky a programovým vybavením stejně jako jiné měřicí, monitorovací a řídicí systémy.

Hlavním cílem technické diagnostiky je využít všechny potřebné informace o stavu diagnostikovaného objektu bez demontáže, často za jeho běžného provozního režimu. Zařízení je možné diagnostikovat i v podmínkách jeho mezního provozu. Rozsah diagnostiky a její konkrétní provedení se volí dle předpokládaných nákladů a na druhé straně dle možných úspor, kterých se dosáhne snížením či odstraněním poruch. To je následováno snížením potřeby náhradních dílů a prodloužením provozního života zařízení.

Návrh diagnostického systému se volí dle druhu sledovaného zařízení a podle jeho funkce, kde je porucha funkce zařízení dána změnou nějaké z fyzikálních veličin. Je-li nutná přesná diagnostika složitého zařízení, musí se měřit různé fyzikální veličiny současně na více místech. Změřené veličiny jsou většinou digitálně zpracovány a přehledně graficky znázorněny. Pokud je stav zařízení nepřetržitě sledován a diagnostikován, můžou být výsledky počítačově zpracovávány v reálném čase a na hrozící poruchu obsluha zařízení ihned upozorněna. Je dokonce i možné na základě vyhodnocení, aby byl provoz automaticky přerušen.[8]

## 1.1 Diagnostika funkční a testovací

Diagnostikování je možné rozdělit na funkční a testovací, kdy při funkční diagnostice jsou vyhodnocovány měřicí signály různých senzorů při běžném provozu zařízení. A u testovací diagnostiky jsou na vstup diagnostikovaného objektu přiváděny stimulační signály, které nenaruší běžný provoz zařízení a umožní detekovat poruchu.[8]

## 1.2 Senzory

Sledují v určitých místech fyzikální veličiny diagnostikovaného zařízení a převádějí je většinou na elektrický signál. Důležitá je kalibrace v předem určených časových intervalech, neboť senzory jsou častějším zdrojem možných chyb než vyhodnocovací či zesilující prvky zařízení určených k diagnostice.

Základním předpokladem je určit místa, na kterých se budou měřit fyzikální veličiny, jež charakterizují vývoj poruchy. Diagnostika by se neměla zacílit jen na ustálené pracovní režimy stroje, ale hlavně na přechodové režimy.

Je nutné také určit jasná kritéria pro vyhodnocení druhu a závažnosti poruchy.[8]

## 1.3 Druhy diagnostiky zařízení

Dle sledovaných veličin se rozlišují jednotlivé druhy diagnostiky zařízení [8]:

- Teplotní diagnostika - v měřících bodech se měří změny teploty a aktuální teplota.
- Vibrodiagnostika - v měřících místech se měří a vyhodnocuje kmitání, pro hydraulické obvody je význačné široké frekvenční spektrum kmitání.
- Diagnostika modální analýzou - měří se a vyhodnocují vlastní frekvence mechanické konstrukce a jejich tlumení.
- Diagnostika statickým zatížením - v měřících bodech se měří a analyzují statické síly, mechanické napjatosti či tlaky.
- Termografická diagnostika – v různých úsecích se měří a analyzují teplotní pole.
- Hluková diagnostika - v měřících bodech se měří hluk s frekvenčním spektrem.
- Elektrodiagnostika - měří se velikosti a změny elektrických veličin a funkce elektrických přístrojů.
- Tribodiagnostika – slouží k analýze použitých maziv a kapalin.

## 2 Popis stroje a jeho hydraulického obvodu

### 2.1 Popis strojního zařízení VOKA pily

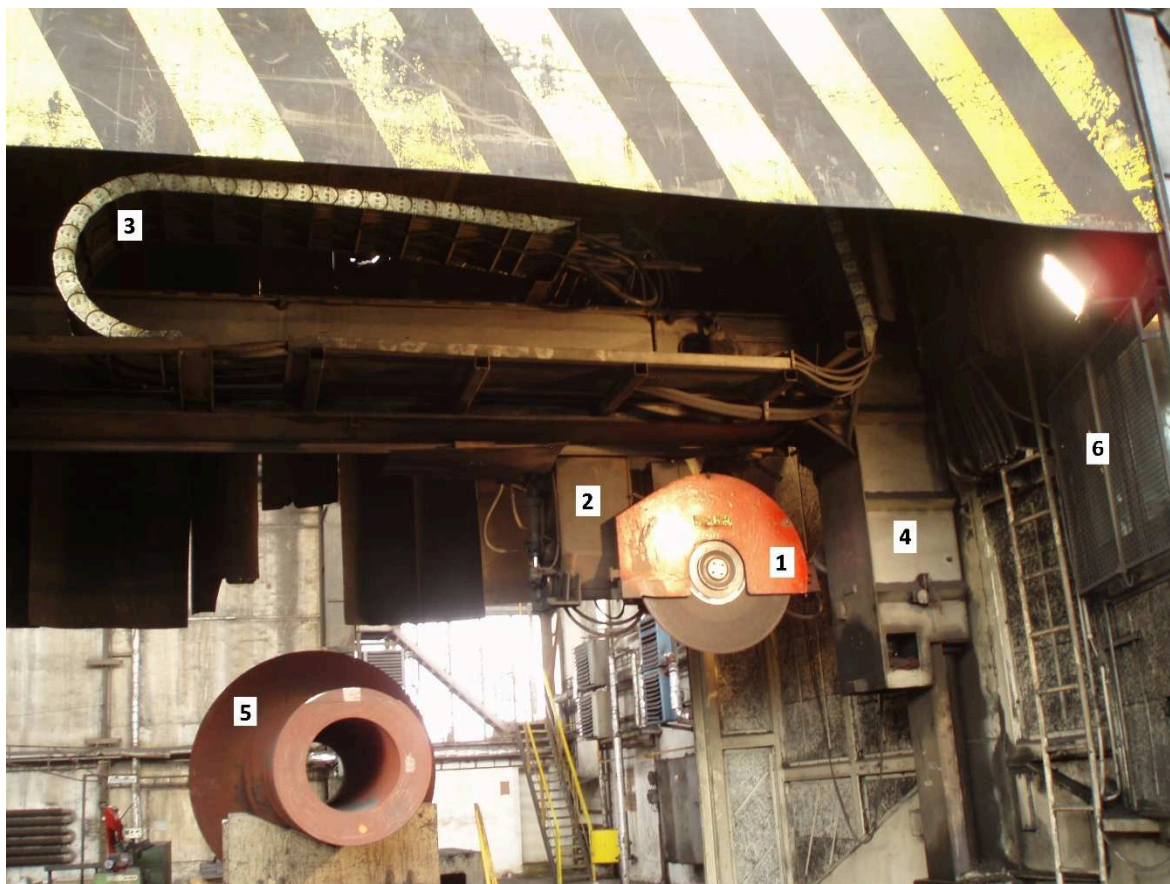
VOKA pila je zařízení k vyřezávání vzorku pro provedení destrukčních materiálových zkoušek z výkovku. Vzorky jsou vyřezávány brusným flexibilním kotoučem o výchozím průměru 1000 mm. Přičemž je přípustné jeho opotřebení na krajní průměr 700 mm.

Základní části:

1. **Portál** - nosná ocelová konstrukce pily pojíždějící po kolejnicích pomocí hnaných kol. Pohyb portálu je omezen na obě strany nárazníky. Ve zvolené poloze je portál hydraulicky zablokován ke kolejím.
2. **Příčný nosník** – ocelový skříňový nosník vedený na vodících sloupech a vykonávající pohyb nahoru a dolů pomocí pohybových šroubů hnaných hydromotorem. Ve zvolené poloze se provede hydraulické zablokování.
3. **Dělicí hlava** - je umístěna na příčném nosníku na vodících kladkách, které umožňují pohyb dělicí hlavy ve vodorovném směru na obě strany. Pohyb je vyvozen pastorkem hydromotoru zabírajícího do ozubeného hřebene, který je součástí příčného nosníku. Cyklický pohyb na obě strany je automaticky řízen nastavenými narážkami.
4. **Suport** - je součástí dělicí hlavy a pohybuje se tedy společně s ní. Suport může zaujímat na hlavě buď polohu vodorovnou, nebo svislou. Současně se suportem tyto polohy zaujímá i řezací kotouč. Ve zvolené poloze je suport hydraulicky zablokován. Suport s řezacím kotoučem se pohybuje na vodících tyčích pomocí hydraulického válce a umožňuje zvolený posun kotouče do řezu tzv. přistavení.
5. **Odprašovací stanice** - je umístěna na portálu a pohybuje se s ním. Odprašovací stanice odsává z prostoru mezi roletami vzdušiny znečištěné prachem z řezání. Vzdušiny jsou zbaveny ve filtrech prachu a čisté vypouštěny mimo objekt kovářny.
6. **Upínací stůl** - je kruhový stůl opatřený rybinami o průměru 5800mm. Stůl je uložen ve valivých ložiskách na čepu a podepřen na okrajích kladkami. Stůl je ve zvolené poloze zablokován hydraulickými klíny. Otáčení stolu je vyvozeno elektromotorem přes převodovou skříň. Stůl umožňuje otáčení výkovku anebo jeho přesnější ustavení. Nosnost stolu při těžišti v ose stolu je 80 t.

## 2.2 Řezné operace strojního zařízení

1. **Fixace vzorku** - po provedeném podřezání je vzorek proti klínování řezného kotouče tepelnými vlivy zafixován obepnutím řetězem.
2. **Nastavení** - ustavení dělicí hlavy k výkovku pro provedení řezné operace ve vodorovném (podřezání) a následně svislém směru (dořezání).
3. **Řezání** - cyklický pohyb řezného kotouče vlevo a vpravo přičemž v koncových úvratích dochází k pohybu kotouče do řezu o zvolený posun (přistavení). Ovládání umožňuje vynechat posun do jednoho, anebo i obou směrů cyklického pohybu řezací hlavy.
4. **Suportování** - je specifickou řezací operací pro případy kdy není možno provést fixaci vzorku obepnutím. Po provedení částečného dořezání je zbytkový materiálový můstek prořezáván postupně pohybem řezného kotouče směrem dolů při stojící a zablokované řezací hlavě.



Obr. 2.1 Řezný prostor pily

*1 – Dělicí kotouč, 2 – Dělicí hlava, 3 – Energetický řetěz s rozvody, 4 – Příčný nosník,  
5 – Hřídel, 6 – Ovládací kabina*

## 2.3 Popis hydraulického obvodu

Hydraulický systém zajišťuje tyto funkce [Příloha A]:

- Pohon dělicího kotouče rotačním hydromotorem A2F2225R1P2 (Rexroth).
- Pohon posuvu rotačním hydromotorem OSM160 (Sauer Danfoss).
- Pohon zdvihu rotačním hydromotorem F12-60-MF-IH-K (Parker).
- Naklápění hlavy dělicího kotouče přímočarým hydromotorem 63/36-125.
- Upnutí portálu přímočarým hydromotorem HSA 40-25.
- Upnutí příčníku, pojezdu a posuvu přímočarým hydromotorem HSE 24-15.
- Přidávání do řezu přímočarým hydromotorem 63/36-350.

Členění hydraulického zařízení [Příloha A]:

- Hydraulický agregát s plyno-hydraulickými akumulátory a s příslušenstvím nádrže.
- Pohonné jednotky s příslušenstvím.
- Přímocharé a rotační hydromotory, funkčně spjaté s technologickým zařízením.
- Potrubní rozvod s kotevním materiálem.
- Ovládací hydraulické bloky a panely v blízkosti uvedených pohonů.

Technický popis hydraulického obvodu [Příloha A]:

Hydraulický systém pily se skládá ze tří hydraulických obvodů se společnou nádrží. Pro pohon rotačního hydromotoru dělicího kotouče je navržen hydraulický obvod, který tvoří dva axiální pístové hydrogenerátory v tandemovém zapojení s elektro-hydraulickou regulací geometrického objemu. Tyto hydrogenerátory jsou poháněny elektromotorem o výkonu  $P = 110 \text{ kW}$ . Pohonná jednotka je umístěna pod hydraulickou nádrží a pohání dělicí kotouč přes převodovou skříň pomocí pístového axiálního hydromotoru. Otáčení dělicího kotouče je realizováno pouze v jednom směru. Sání obou hydrogenerátorů má společný uzavírací ventil s koncovým spínačem pro hlídání jeho plného otevření. Oba tlakové výstupy z hydrogenerátorů jsou paralelně připojeny k pojistnému ventilu s odlehčením a pojistný ventil je nastaven na tlak 31,5 MPa. Hydrogenerátory jsou hydraulicky připojeny k tlakovým potrubním rozvodům Ø38x5 mm pomocí pryžových tlakových hadic. Rozvody jsou vedeny samostatně až ke vstupu do rotačního hydromotoru. Z důvodu pohybu dělicího kotouče ve



třech osách je nutné, aby byly rozvody v řezném prostoru realizovány pomocí pryžových tlakových hadic. Tyto hadice jsou umístěny v energetických řetězech, které umožňují pohyb dělicího kotouče bez poškození rozvodů. Z hydromotoru je zpětný rozvod sveden přes deskový chladič zpět do nádrže. Deskový chladič je chlazen vodou a v přívodním vedení chladicí vody je zabudován solenoidový ventil řízený termostatem, jenž je vsazen do nádrže.

Hydraulický agregát je tvořen ocelovou hranatou nádrží o objemu  $V = 1000 \text{ dm}^3$ . Pod nádrží je umístěna pohonná jednotka dělicího kotouče. Součástí nádrže jsou dvě inspekční a čistící víka, vypouštěcí ventil a lineární olejznak pro vizuální kontrolu hladiny oleje. Z boku nádrže jsou namontovány dva odporové ohříváče W1 a W2 každý o výkonu  $P = 5,5 \text{ kW}$ . Na víku nádrže jsou instalovány dva spínací termostaty SP1 a SP2 ( $35^\circ\text{C}$ ), které spínají výše zmiňované odporové ohříváče. Dalším spínacím termostatem je SP3 ( $65^\circ\text{C}$ ), který vypíná hydraulický systém při překročení havarijní teploty. Na víku je rovněž umístěn dvou kontaktní snímač hladiny (výstraha min I, blokace min II). Na nádrži je také nainstalován vzduchový filtr k přívodu a odvodu vzduchu z nádrže, tzv. dýchání nádrže. Pod nádrží je umístěna záchytná vana pro případné úkapy pracovní kapaliny.

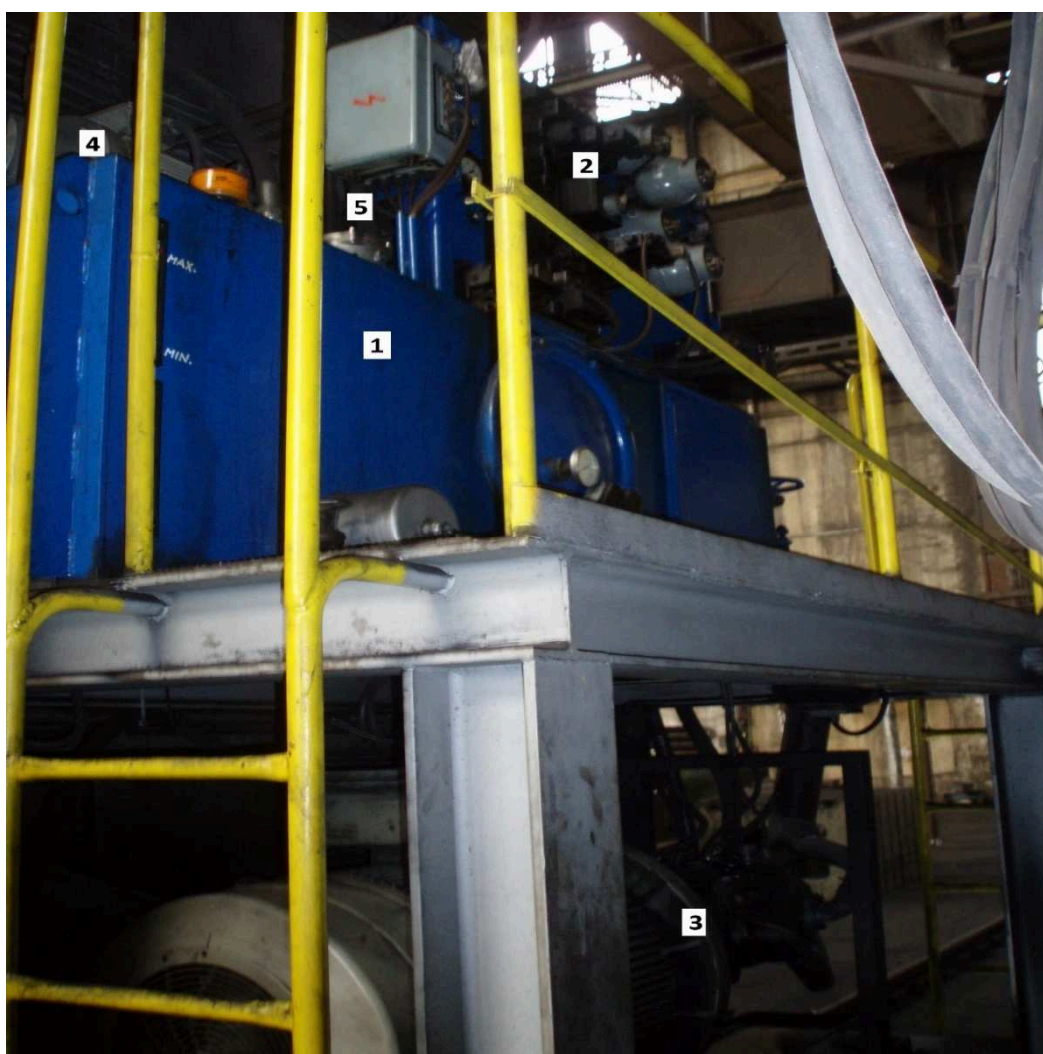
Na nádrži jsou upevněny dva hydrogenerátory (levotočivý a pravotočivý), poháněné společným elektromotorem o výkonu  $P = 22 \text{ kW}$ . Tlakový výstup levotočivého zubového hydrogenerátoru je pojištěn pojistným ventilem s odlehčením nastaveným na pojistný tlak  $15 \text{ MPa}$ . Dále je napojen do čtyř sekční základové desky (NG16), na které jsou připojeny hydraulické prvky a rozvody pro pohon posuvu, pohon zdvihu, škrťací ventil a odlehčovací ventil. Paralelně je k tlakovému výstupu napojena základová deska Naklápění hlavy dělicího kotouče (NG16) a přes škrťací ventil základová deska (NG10), na které jsou připojeny hydraulické prvky a rozvody pro upínání: portálu, příčníku, pojezdu a posuvu. Zmíněná upínání jsou realizována jednočinnými přímočarými hydromotory, na jejichž přívodech jsou instalovány plyno-hydraulické vakové akumulátory (plnicí tlak  $p_0 = 8 \text{ MPa}$ ). Odpadní větve ze základových desek NG16 jsou svedeny přes vzduchový chladič a odpadní filtr zpět do nádrže. Vzduchový chladič má integrovaný spínací termostat SP4 ( $40^\circ\text{C}$ ). Odpadní větev základové desky NG10 je svedena zpět do nádrže bez chlazení či filtrace.

Tlakový výstup pravotočivého lamelového hydrogenerátoru s možností změny geometrického objemu je napojen do základové desky (NG10) pro funkci přidávání do řezu. Na desce je instalován pojistný ventil tlakového výstupu hydrogenerátoru nastavený na pojistný tlak  $6,5 \text{ MPa}$ . K tlakovému výstupu z hydrogenerátoru je také paralelně připojen

plyno-hydraulický vakový akumulátor ( $p_0 = 2,5 \text{ MPa}$ ). Odpadní větev funkce přidávání do řezu společně s odpadní větví s výše zmíněnou funkcí upínání je svedena zpět do nádrže bez chlazení či filtrace.

Tab. 2.1 Základní parametry pohonů pily [Příloha A]

Průtok pístových hydrogenerátorů	Q	[dm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> ]	495
Tlak pístových hydrogenerátorů	p	[MPa]	31,5
Průtok zubového hydrogenerátoru	Q	[dm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> ]	64
Tlak zubového hydrogenerátoru	p	[MPa]	15
Průtok lamelového hydrogenerátoru	Q	[dm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> ]	14
Tlak lamelového hydrogenerátoru	p	[MPa]	6,5



Obr. 2.2 Hydraulický agregát pily

1 – Nádrž, 2 – Panel s ventily, 3 – Pohonná jednotka dělicího kotouče,  
4 – Pohonná jednotka posuvů a přidávání do řezu, 5 – Odpadní filtr

### **3 Příprava diagnostiky hydraulického obvodu**

Stav hydraulického obvodu pily byl zjišťován pomocí takzvané bezdemontážní diagnostiky, což znamená, že veškerá měření nebo odebírání vzorků pracovní kapaliny probíhala za plného provozu zařízení. Nutná je ovšem způsobilost systému k provedení bezdemontážních měření. Proto jsem se zabýval kontrolou hydraulického obvodu, reálný obvod porovnával s dokumentací, zda nedošlo ke změnám, jež by ovlivnily výsledky měření. Zkontroloval jsem obvod po stránce připravenosti k diagnostice a jsou-li jeho součástí vhodná připojovací místa pro provedení měření. Pro diagnostiku hydraulického obvodu jsem navrhl vhodné snímače, jejichž parametry jsou uvedeny v tabulkách.

#### **3.1 Kontrola funkčního schématu pily**

Byla provedena kontrola výkresové dokumentace hydraulického obvodu. Jedná se o funkční schéma obvodu pily s označením 1-KS-307206-3775. Prošel jsem postupně veškeré potrubní i hadicové rozvody hydraulického obvodu. Zkontroloval jsem označení řídicích a regulačních prvků. Zkontroloval jsem hydrogenerátory, hydromotory, filtry a další části obvodu. Funkční schéma odpovídá skutečnému stavu hydraulického obvodu, a proto by z tohoto důvodu nebylo nutné nijak do schématu zasahovat. Dokumentace byla aktualizována z důvodu přizpůsobení k bezdemontážní diagnostice.

#### **3.2 Způsobilost obvodu k diagnostice**

Po kontrole výkresové dokumentace byla zjištěna malá způsobilost hydraulického obvodu k diagnostice. Došlo ke zvolení míst k měření a osazení rozvodů měřicími přípojkami minimess, aby bylo možné provádět měření a odebírat vzorky pracovní kapaliny. Po osazení rozvodů měřicími přípojkami jsem aktualizoval funkční schéma obvodu a tato místa, označená velkým písmenem M a číslem do něj zaznamenal. Aktuální schéma s označením 1-KS-307206-3775/a přikládám v příloze pod názvem Příloha A.

### 3.3 Zařízení pro měření hydraulického obvodu

Při diagnostice hydraulického obvodu byl měřen a vyhodnocován stav pracovní kapaliny, zejména obsah nečistot v pracovní kapalině, tlaky, případné tlakové ztráty a průběhy teplot. Dále také zatížení elektromotoru v průběhu řezání pomocí proudového transformátoru s převodníkem proudu. Pro tato měření byly zvoleny přenosné multifunkční příruční měřicí přístroje firmy Parker, které jsou speciálně navrženy pro tyto aplikace.

#### Zařízení pro měření stavu pracovní kapaliny

K měření stavu pracovní kapaliny, konkrétně podílu pevných částic ve vzorku odebraného hydraulického oleje, bylo použito zařízení Parker icountBS. Tento přístroj je navržen jako přenosné měřicí zařízení pro analýzu částic v kapalinách. Principem činnosti zařízení je přerušení světelného paprsku na bázi laseru.

Mezi hlavní výhody zařízení icountBS patří jednoduché ovládání pomocí dotykového interaktivního displeje. Další výhodou je přítomnost tlakové komory, která slouží ke snížení obsahu vzduchu v kapalině pomocí vnitřního kompresoru nebo vnějšího zdroje vzduchu. Náhled do tlakové komory se vzorkem umožňuje praktický průzor s otevíracím mechanismem. Dvířka icountBS jsou vybavena bezpečnostním uzamykáním. Komora obsahuje vysouvací jehlu pro odběr vzorku, která je čištěna automaticky po každém odběru. Na boku přístroje se nachází interní tiskárna. Zařízení je kalibrováno pro standardy ISO a NAS.[9]



Obr. 3.1 Parker icountBS [9]

Tab. 3.1 Parametry Parker icountBS [9]

Výkon laseru	<b>5 mW</b>
Kalibrační prach	<b>MTD nebo ACFTD</b>
Velikosti kanálů	<b>ACFTD</b> – >2 $\mu$ ,>5 $\mu$ ,>15 $\mu$ ,>25 $\mu$ ,>50 $\mu$ ,>100 $\mu$ <b>MTD</b> – >4 $\mu$ (c),>6 $\mu$ (c),>14 $\mu$ (c),>21 $\mu$ (c),>38 $\mu$ (c), >70 $\mu$ (c)
Rozsah analýzy	ISO 7 až 21, NAS 0 až 12
Standardy kontaminace	<b>ACFTD</b> – ISO 4406:1987, ISO 4406:1991 & NAS 1638 <b>MTD</b> - ISO 4406:1999, NAS 1638
Rozsah viskozity	10 až 400 cSt
Kompatibilita s kapalinami	Oleje na minerální bázi
Objem vzorku	250 ml
Paměťová kapacita	Maximálně 500 testů
Zdroj tlakového vzduchu	3,5 bar mini-kompresor, 7 bar rozvod tlakového vzduchu

Dřívější ISO 4402, které se používalo při kalibraci s ACFTD prachem nahradilo ISO 11171 s novým ISO MTD. Pro počítání částic dle nového způsobu kalibrace se doporučuje používat označení  $\mu\text{m(c)}$ , kde „c“ značí certifikované velikosti NIST, z důvodu snadného odlišení výsledků od těch, jež byly získány dle kalibrace podle ISO 4402.[9]

### Zařízení pro měření tlaku a teploty

K měření tlaku a teploty v hydraulickém obvodu byl použit přenosný multifunkční přístroj Parker ServiceMaster Plus SCM-500. Tento přístroj slouží k měření, sledování, ukládání a analýze teplot, tlaků a objemových průtoků v hydraulických systémech. Toto zařízení může současně zpracovávat a zaznamenávat až 54 kanálů popřípadě až 26 senzorů. Připojení senzorů je řešeno přes dvě vzájemně oddělené sítě CAN-BUS a analogové vstupy.

U senzorů s automatickým rozpoznáváním je parametrizace jednotek a měřicího rozsahu automatizována. Můžeme také používat senzory bez rozpoznávání s analogovým signálem a přesností snímání od 0,1 ms. Díky rozhraní LAN a USB lze zařízení připojit k PC či síti a analýzu tak můžeme provádět i vzdáleně. Analýzu dat je možné provádět v PC se softwarem SensoWin 7.[10]



Obr. 3.2 Parker SCM – 500 [10]

*1 – Vstupní modul I, 2 – Vstupní modul II, 3 – Základní vstupy a výstupy, 4 – Komunikační přípojky, 5 – Obrazovka, 6 – Klávesnice, 7 – Ochranný kryt*

### 3.4 Navržené snímače a jejich parametry

K diagnostice hydraulického obvodu byly použity tlakové snímače firmy Parker, které jsou určeny k měření pomocí zařízení Service Master Plus SCM-500. Některé z tlakových snímačů zároveň dovolují měřit i teplotu pracovní kapaliny. Měření proudu na fázi elektromotoru pohánějícího hydrogenerátory pro pohon dělicího kotouče bylo realizováno násuvným měřicím transformátorem proudu s připojeným převodníkem střídavého proudu.

#### **Snímače tlak/teplota**

K měření tlaku a teploty byly využity snímače Parker SCPT, které jsou robustní nerezové konstrukce. Tyto snímače jsou odolné proti tlakovým špičkám a umožňují dvojnásobné překročení maximálního měřicího tlaku, aniž by došlo k poškození snímače. K připojení snímače do hydraulického obvodu využívají standartní přípojku minimess (M16x2).[11]



Obr. 3.3 Snímač Parker SCPT [11]

Tab. 3.2 Parametry snímačů SCPT [11]

Měřicí rozsah	0...10/40/60 Mpa
	-25...+125 °C
Hydraulické připojení	1/2" BSPP + Minimes adapter (M16x2)
Přesnost	± 0,5 % z koncové hodnoty
Elektrické připojení	5 pin push-pull

### Měřicí transformátor proudu

K měření proudu na fázi elektromotoru byl použit měřicí transformátor proudu KBU 58 s rozebíratelným jádrem. Montáž transformátoru se provádí pomocí zacvaknutí zavírání. Dochází v něm k transformaci vstupního proudu (0...1000 A) na jmenovitý proud (0...5 A). [12]



Obr. 3.4 Transformátor KBU [12]



Tab. 3.3 Parametry KBU 58 1000/5A [12]

Primární proud	0...1000 A
Sekundární proud	0...5 A
Připojení	Uzavření jádra
Přesnost	$\pm 1 \%$ z koncové hodnoty
Výkon	10 VA

### Převodník střídavého proudu

Aby bylo možné výše zmíněný transformátor připojit k měřicímu zařízení Parker SCM – 500 na jeho konektor pro snímače bez rozpoznávání, bylo nutné použít převodník střídavého proudu s externím napájením, který převádí vstupní sinusový proud na vnucený stejnosměrný proud o rozsahu 4...20 mA.[13]



Obr. 3.5 Převodník Weigel A1U 2.3 [13]

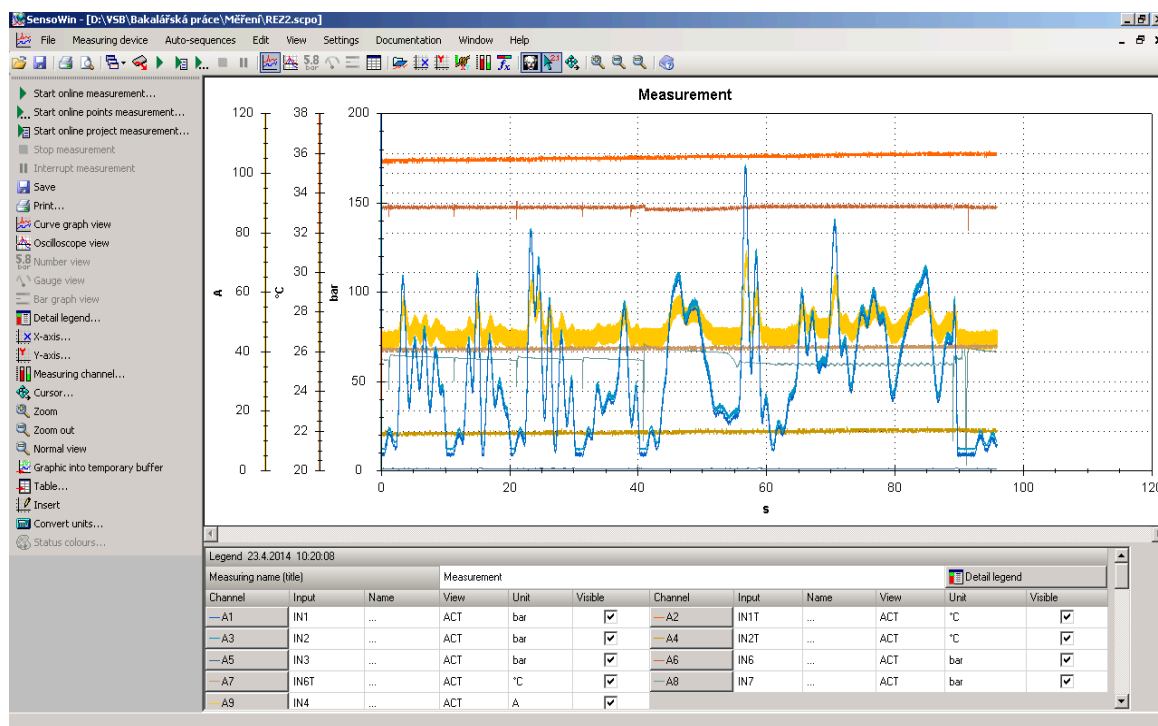
Tab. 3.4 Parametry Weigel A1U 2.3 [13]

Vstupní proud	0...5 A
Výstupní	4...20 mA
Napájení	AC 230 V, 48...62 Hz
Přesnost	$\pm 0,5 \%$ z koncové hodnoty
Doba ustálení	500 ms

## 4 Diagnostika hydraulického obvodu

Diagnostika hydraulického obvodu proběhla při odřezávání zkušební vzorku z výkovku o průměru 800 mm. Pro odřezání vzorku byl použit řezný kotouč Rapoflex T41-1000x11/10x100-8A-24-O-B1/1F68, který měl aktuální průměr 800 mm. Otáčky dělicího kotouče byly nastaveny na  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ .

Měření bylo vyhodnoceno a výsledná data zpracována v programu SensoWin 7. Jedná se o software navržený pro měřicí zařízení SCM - 500 a slouží k vyhodnocení naměřených dat a jejich zpracování ve formě přehledných grafů. Data je možno vyhodnocovat a sledovat i v průběhu měření. V programu lze zpracovávat více měření najednou. Dokonce je možné například průběhy tlaků z rozdílných měření vložit do jednoho grafu a křivky průběhů tak dle potřeb porovnávat či dále vyhodnocovat. Níže je obrázek 4.1, který znázorňuje pracovní prostředí softwaru SensoWin 7.



Obr. 4.1 Pracovní prostředí softwaru SensoWin7

## 4.1 Měření průběhů tlaků a proudu elektromotoru

Jelikož hydraulický systém pily tvoří tři samostatné hydraulické obvody se společnou nádrží, měření tlaků probíhala ve všech třech obvodech.

Nejvytíženějším hydraulickým obvodem je pohon dělicího kotouče. Z důvodu poměrně dlouhého rozvodu k jeho rotačnímu hydromotoru, který je tvořen dvěma přívody realizovanými hadicemi, o délce 2 x 15 m, bylo vhodné změřit i tlakovou ztrátu v tomto úseku. Proto se měřicí místo M1 nachází co nejbližše hydromotoru poz. 13 a měřicí místo M2 na začátku obvodu v prostoru agregátu. Tlaková ztráta v tomto rozvodu bude dána rozdílem tlaku M2 a M1. Jedná se o rozdíl tlaku mezi těmito body, který udává, kolik pracovní energie se mezi těmito body změní na energii tepelnou [6]. Na odpadním vedení hydromotoru v prostoru agregátu je instalováno měřicí místo M3, na kterém byl měřen tlak ve zpětném vedení z rotačního hydromotoru.

Aby bylo možné měřit tlak v blízkosti hydromotoru při řezání, bylo nutné vést od snímače elektrický kabel o délce 20 m energetickými řetězy, kterými jsou zároveň vedeny hadice k hydromotoru. Tento kabel byl sveden až do prostoru agregátu, kde je napojen k měřicímu přístroji Parker SCM-500 pomocí konektoru pro snímače bez rozpoznávání. V přístroji bylo důležité nakonfigurovat vstupní signál, v tomto případě se jednalo o proud v rozsahu 4...20 mA, a také rozsah snímače a jím měřenou veličinu  $I = 0 \dots 1000A$ .



Obr. 4.2 Umístění snímače M1 a vedení kabelu od snímače

Při otáčkách dělicího kotouče  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ , nezatíženého v řezu, jsem zaznamenal tlakovou ztrátu na rozvodu k rotačnímu hydromotoru  $\Delta p_{zt} = 0,4 \text{ MPa}$ . Níže jsem provedl přibližný výpočet tlakové ztráty v hadicích. Tento výpočet slouží k ověření, že naměřené hodnoty se blíží k teoretické tlakové ztrátě a že ztráta je způsobena třením kapaliny ve vedení. Při výpočtu tlakových ztrát v obvodu dělicího kotouče jsem vycházel z těchto hodnot [Příloha A] [16]:  $Q_{max} = 495 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} = 0,00825 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $d_h = 32 \text{ mm} = 0,032 \text{ m}$ ,  $l_c = 30 \text{ m}$ ,  $\rho = 860 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\nu = 46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Výpočet tlakové ztráty ve vedení pro maximální průtok hydrogenerátoru[2]:

$$Q_{1,2} = \frac{Q_{max}}{2} = \frac{0,00825}{2} = \mathbf{0,004125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \quad (4.1.1)$$

$$v_{1,2} = \frac{4 \cdot Q_{1,2}}{\pi \cdot d_h^2} = \frac{4 \cdot 0,004125}{\pi \cdot 0,032^2} = \mathbf{5,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (4.1.2)$$

$$Re = \frac{v_{1,2} \cdot d_h}{\nu} = \frac{5,13 \cdot 0,032}{46 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{3568} \quad (4.1.3)$$

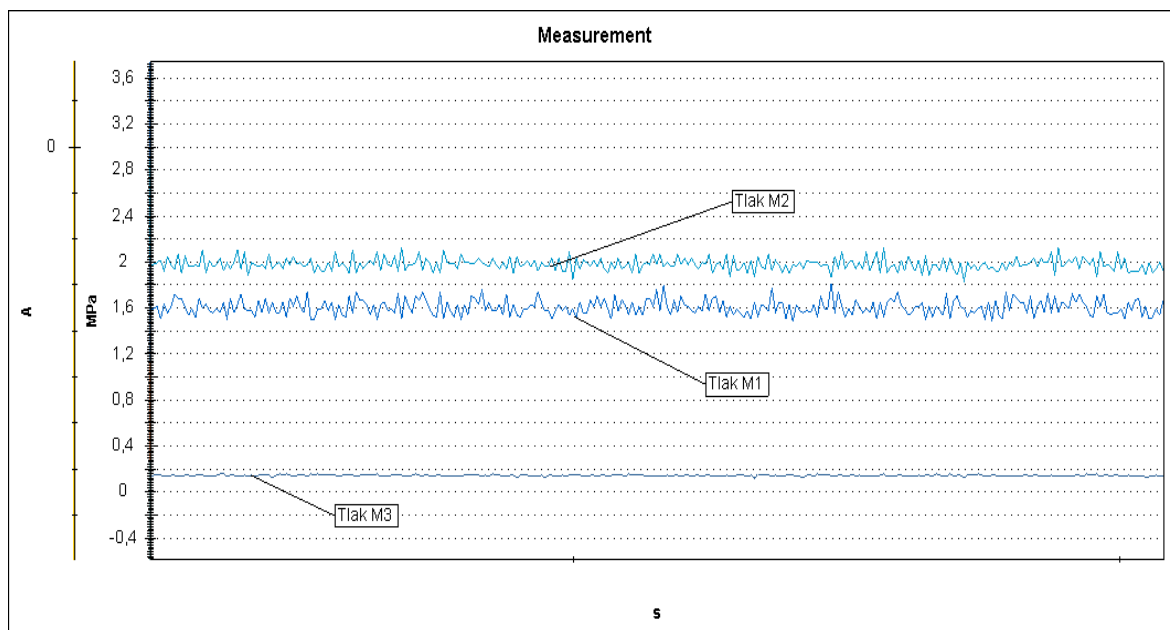
$$\lambda_{TURB} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \mathbf{0,041} \quad (4.1.4)$$

$$\Delta p_{zt} = \lambda \cdot \frac{l_c}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 0,041 \cdot \frac{30}{0,032} \cdot \frac{5,13^2}{2} \cdot 860 = \mathbf{434312 \text{ Pa}} \quad (4.1.5)$$

kde	$Q_{max}$ – maximální průtok obou hydrogenerátorů	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
	$Q_{1,2}$ – maximální průtok jedním hydrogenerátorem	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
	$v_{1,2}$ – rychlost proudění v jedné hadici	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
	$d_h$ – vnitřní průměr hadic	$[\text{m}]$
	$\lambda_{TURB}$ – součinitel tření v hadicích	$[1]$
	$l_c$ – celková délka obou hadic	$[\text{m}]$

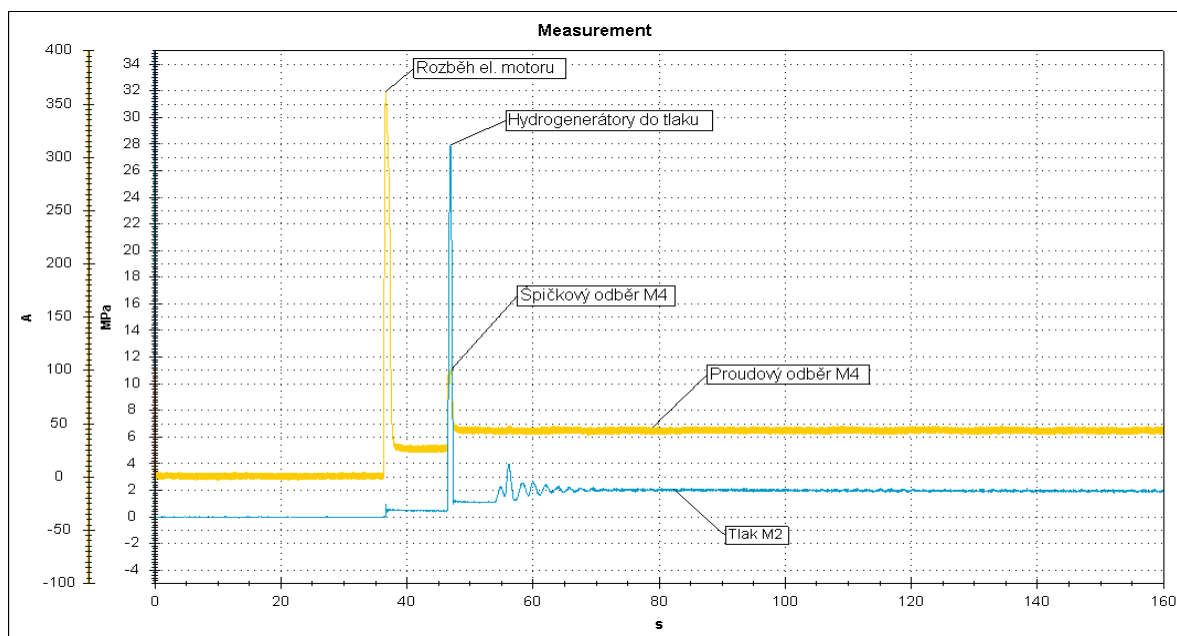
Tab. 4.1 Výsledky výpočtů

Veličina	Jednotka	Hodnota
$v_{1,2}$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	5,13
Re	[1]	3568
$\lambda_{TURB}$	[1]	0,041
$\Delta p_{zt}$	[MPa]	<b>0,43</b>

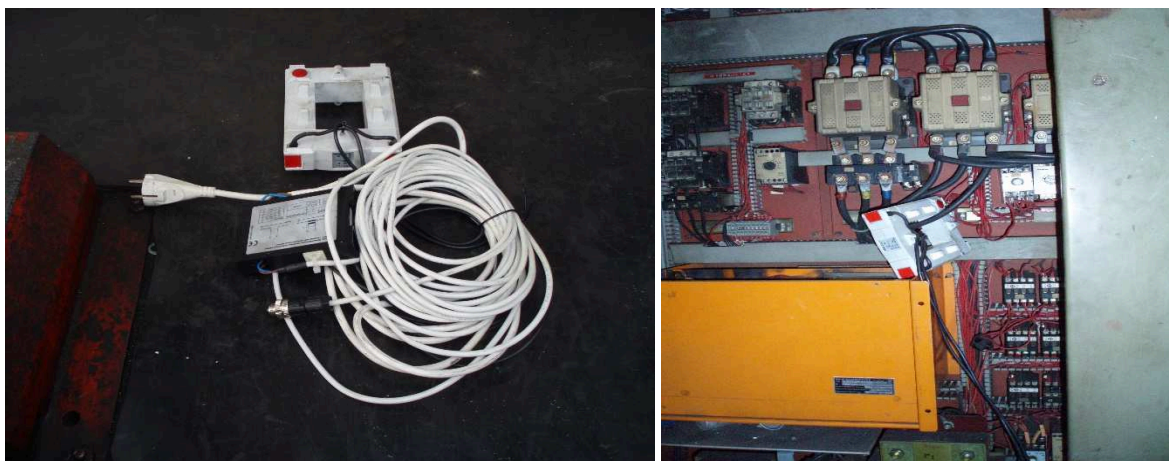


Obr. 4.3 Průběhy tlaků v M1, M2 a M3

Současně s průběhy tlaků při řezání byl měřen elektrický proud na jedné fázi třífázového elektromotoru poz. 1 pohánějícího hydrogenerátory poz. 6 pro pohon dělicího kotouče. Měřící místo je označeno jako M4. Z níže uvedeného grafu je patrná proudová špička při rozběhu elektromotoru a proudový odběr při otáčkách dělicího kotouče  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ , nezátíženého v řezu. Změny tlaku na vstupu do rotačního hydromotoru dělicího kotouče jsou měřeny v místě M2.



Obr. 4.4 Průběh proudu v M4 a tlaku v M2



Obr. 4.5 Realizace měření proudu na fázi elektromotoru

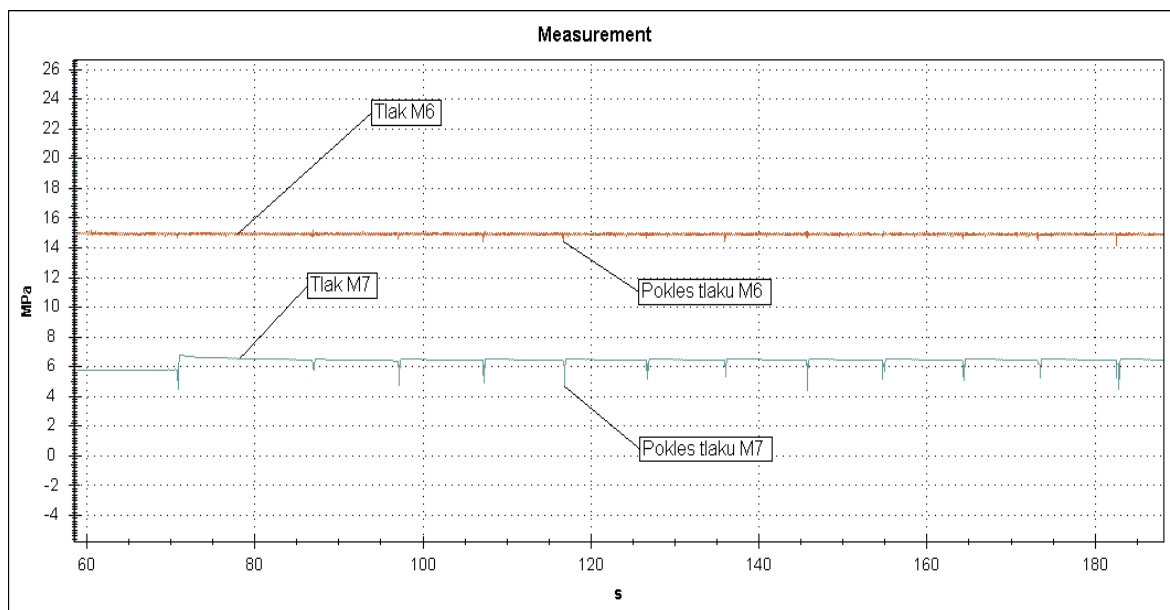
Jelikož se ovládací prvky ostatních funkcí pily nacházejí mimo prostor agregátu a jsou umístěny v řezném prostoru stroje, nebylo možné měřit jednotlivé funkce, ale měřili se pouze změny tlaku v hlavních tlakových větvích hydrogenerátorů poz. 30 a 35 se společným elektromotorem poz. 32. Tato měřící místa jsou označena M6 a M7.

Tlak v měřícím místě M6 dosahuje hodnoty  $p = 15 \text{ MPa}$ , což odpovídá hodnotě, na kterou je nastaven pojistný ventil s odlehčením poz. 40 na hlavním tlakovém vedení hydrogenerátoru.

V měřícím místě M7 dosahuje tlak hodnoty  $p = 6,5 \text{ MPa}$ . Jedná se o hodnotu, nastavenou na pojistném ventilu poz. 72 hlavního tlakového vedení. Nad pojistným ventilem se nachází hydraulický rozvaděč pro ovládání přidávání do řezu v automatickém (rozvaděč bez napětí) nebo ručním režimu. Po přivedení napětí se rozvaděč přestaví a přidávání do řezu je možné ovládat v ručním režimu, kdy se rychlost posuvu přímočarého hydromotoru reguluje pomocí škrticího ventilu se stabilizací umístěného v řídicí kabině.

Z průběhů tlaků v měřících místech M6 a M7 znázorněných na obrázku 4.6 jsou patrné tlakové špičky způsobené náhlými poklesy tlaku. K těmto poklesům dochází při přestavení hydraulických rozvaděčů. Pro M6 je to, když se mění směr posuvu rozvaděčem poz. 43.1 a pro M7, když dojde k přidání do řezu rozvaděči poz. 66.1 a 66.2. Tyto změny jsou zachyceny níže na obrázku 4.6.





Obr. 4.6 Průběhy tlaků v měřících místech M6 a M7

Pro přehlednost jsem záznamy měření rozdělil do tří úseků. Doba jednoho řezu překračuje 20 minut, proto by byl celkový graf značně nepřehledný.

Záznamy měření jsou zhotoveny v této posloupnosti:

1. Start pohonu dělicího kotouče
2. Řezání vzorku
3. Supportování



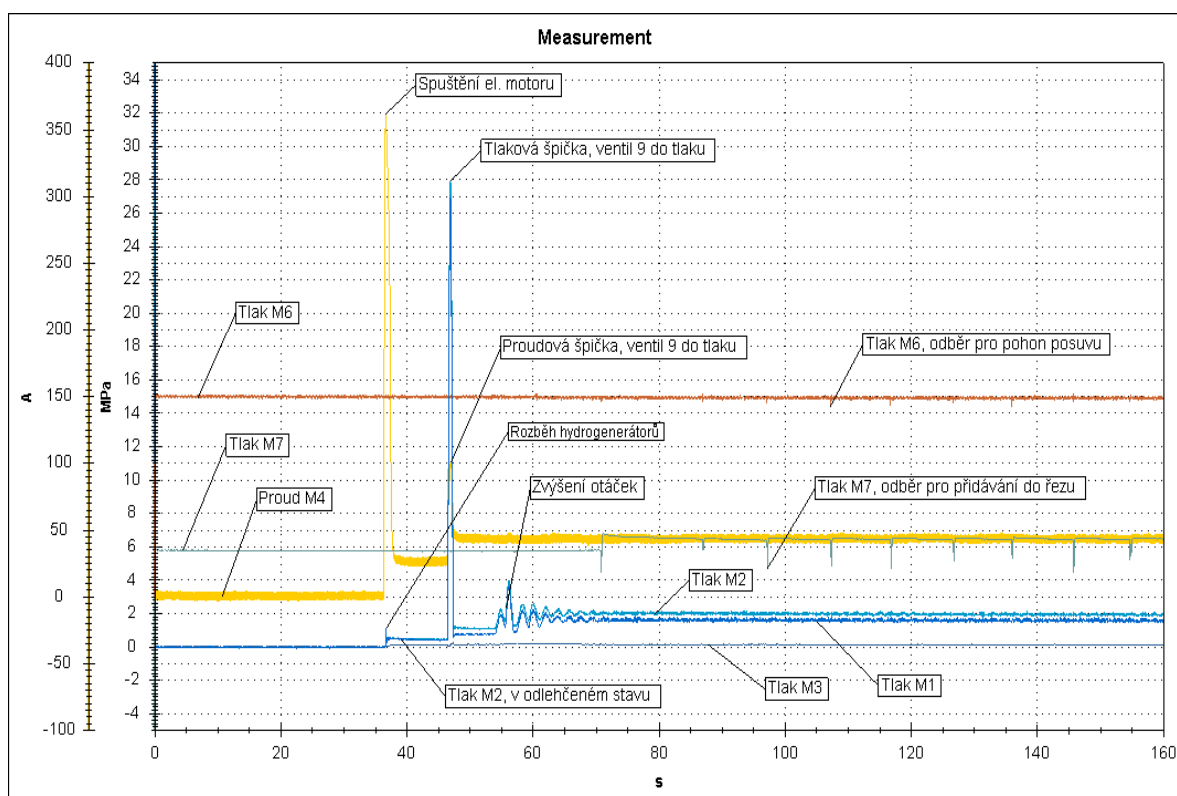
Obr. 4.7 Měření hydraulického obvodu



## 1. Start pohonu dělicího kotouče

Níže jsou graficky znázorněny průběhy tlaků a proudové zátěže při startu pohonu dělicího kotouče. Na měřicích místech M6 a M7 je snímán tlak obou hydrogenerátorů poz. 30 a 35. Měřený proud M4 má na začátku hodnotu  $I = 0$  A, spuštění elektromotoru poz. 1 je patrné z proudové špičky nabývající hodnoty  $I = 363$  A. V době spuštění je elektromotor zapojen pomocí stykačů do hvězdy, a proto vzniklá proudová špička nabývá relativně nízké hodnoty. Také při odlehčených hydrogenerátorech ventilem poz. 9 je odběr elektromotoru pouze  $I = 30$  A. Přepojení elektromotoru stykači do trojúhelníka je provázeno proudovou špičkou  $I = 100$  A. Současně dojde k uzavření odlehčovacího ventilu a poté se proudový odběr ustálí na hodnotě  $I = 47$  A.

Při spuštění hydrogenerátorů v odlehčeném stavu, byla zaznamenána tlaková špička na měřicím místě M2  $p = 1$  MPa a dále tlak nabýval hodnoty  $p = 0,5$  MPa až do uzavření odlehčovacího ventilu poz. 9, kdy dosáhne hodnota tlaku ve špičce  $p_{max} = 28$  MPa a dojde k roztočení hydromotoru poz. 13. Do doby zvýšení otáček hydromotoru je  $p = 1,2$  MPa a po zvýšení otáček na  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$  je hodnota tlaku v M2 ustálena na  $p = 2$  MPa.

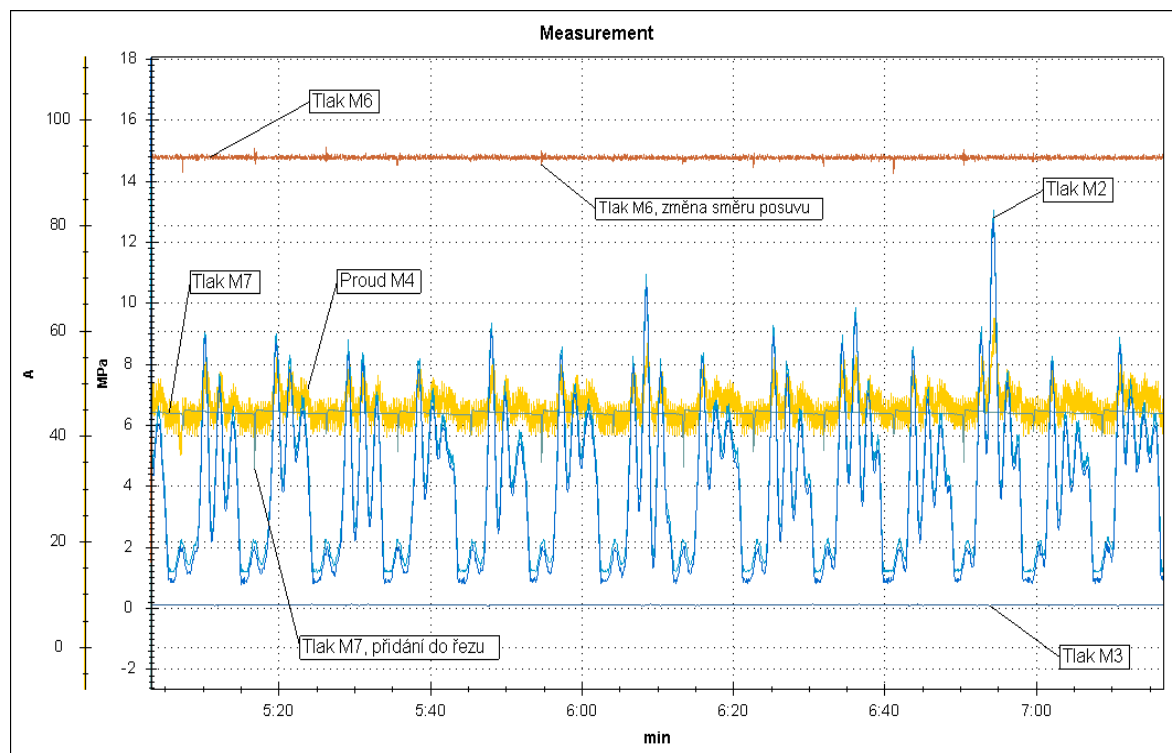


Obr. 4.8 Měření při startu pohonu dělicího kotouče

## 2. Řezání

Z naměřených dat při řezání byl vybrán úsek, kdy hodnota tlaku v měřicím místě M2 dosahuje nejvyšší hodnoty v průběhu celého řezání  $p = 13 \text{ MPa}$ . Výkyvy tlaku v M6 jsou způsobeny změnou směru posuvu, který je omezen koncovými spínači. Pomocí těchto spínačů dojde k přestavení ovládacího rozvaděče posuvu poz. 43.1 a pila tak koná vodorovný pohyb v potřebném rozsahu. Současně s rozvaděčem posuvu se přestaví sedlové ventily poz. 66, přičemž dojde k přidání do řezu a pila vykoná svislý pohyb o 4 mm směrem dolů. K přidání do řezu dojde v každé úvrati vodorovného posuvu a je patrné ze změny tlaku na M7.

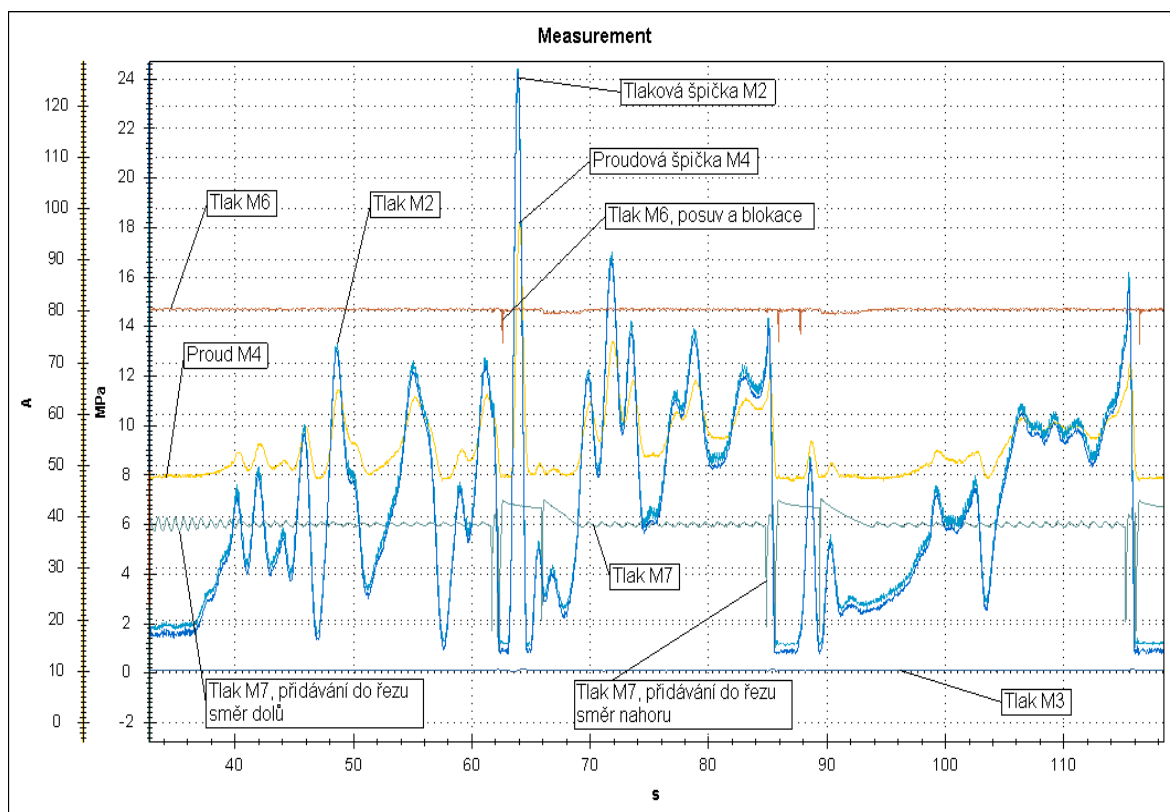
Mezi změnami tlaku v měřicích místech M6 a M7 dochází k najetí řezného kotouče do materiálu. To je provázeno nárůstem tlaku v M2. Mění se charakter průběhu tlaku v době řezu, je zřejmě způsoben tepelnými změnami v bezprostředním místě řezu. Řezný kotouč provádí řez v obou směrech vodorovného pohybu, z grafu však nelze rozlišit, jde-li o sousledné řezání (stejný směr rotace i posuvu) či nesousledné (směr posuvu proti směru rotace).



Obr. 4.9 Měření v průběhu řezání

### 3. Supportování

Po provedení částečného dořezání je zbytkový materiálový můstek cca 20 mm prořezáván postupně pohybem řezného kotouče směrem dolů při stojící a zablokované řezací hlavě. Na měřicím místě M7 dochází ke kolísání tlaku způsobeného přestavením rozvaděče poz. 71 a řízením průtoku škrtícím ventilem se stabilizací poz. 69, který se nachází v ovládací kabině. Kotouč se pohybuje ve svislém směru a postupně odřezává zbylý materiál. Proto jsou patrné změny tlaku v měřicím místě M2 a také změny odběru proudu na měřicím místě M4. Pila je v manuálním ovládání obsluhy, která řídí vodorovný pohyb, blokování řezací hlavy a svislý pohyb. Rychlost svislého pohybu kotouče pily do řezu je ovládána zmíněným škrtícím ventilem. Vyšší rychlost svislého pohybu se projevila v grafu tlakovou špičkou v měřicím místě M2 a proudovou špičkou v M4. Zmiňované průběhy jsou zachyceny na obrázku 4.10



Obr. 4.10 Průběhy tlaků v měřicích místech při supportování

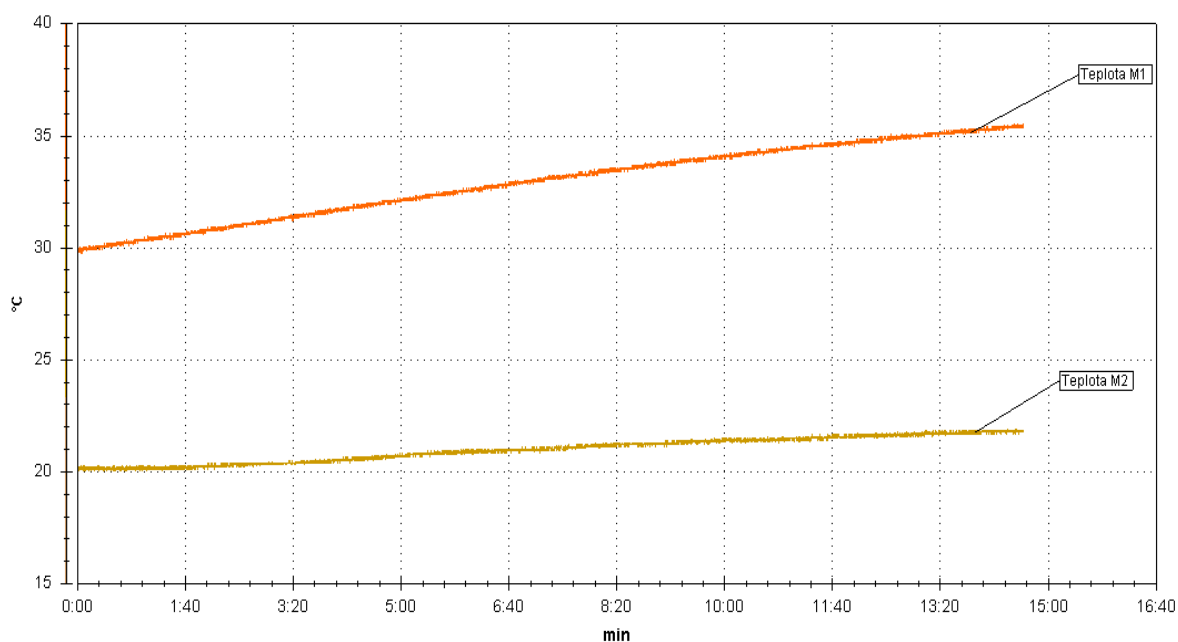
## 4.2 Měření teplot v hydraulickém obvodu

Chlazení pracovní kapaliny v obvodu zajišťuje vzduchový chladič Parker LAC-044-4-D-40 poz.16, který je umístěn na zpětném rozvodu před odpadním filtrem poz. 22. Sekundární chlazení v obvodu zajišťuje vodní deskový chladič Alfa Laval T5-MFG poz. 17, který se nachází na zpětném rozvodu z hydromotoru dělicího kotouče [Příloha A]. Tento deskový chladič se z důvodu nízkých teplot v zimních měsících, jelikož hrozí zamrznutí chladicí vody v rozvodu, odpojuje.



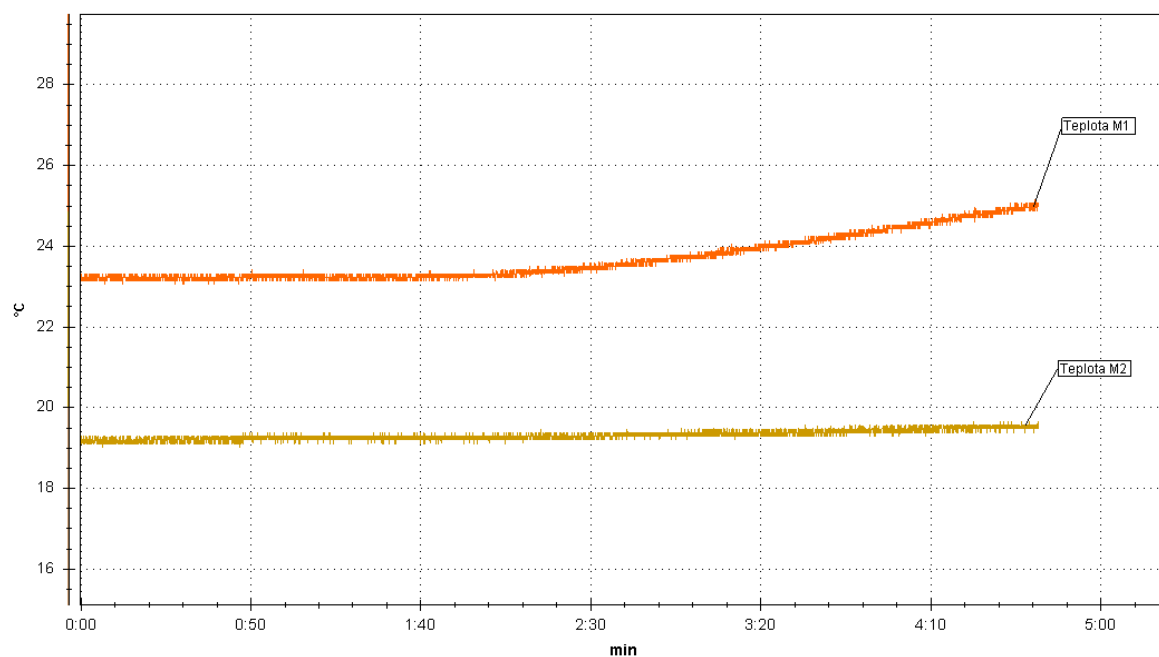
Obr. 4.11 Vzduchový chladič Parker LAC-044

Teploty pracovní kapaliny při řezání byly měřeny pomocí čidel integrovaných ve snímačích tlaku Parker SCPT. Při zahájení řezacích operací měla pracovní kapalina v nádrži teplotu přibližně  $t_t = 20^\circ\text{C}$ . Teplota po dobu jednoho celého pracovního cyklu (jedno odřezání) nepřekročila  $t_t = 40^\circ\text{C}$  v celém hydraulickém obvodu. Mezi jednotlivými řezy je prodleva, neboť je nutná příprava na další řez a to buď v rozsahu přesného najetí a zafixování supportů v místě řezu nebo nutnosti celého otočení rozměrného hřídele. Proto ani v rámci celodenního režimu pily nedosahuje hydraulická kapalina v obvodu kritických hodnot.



Obr. 4.12 Průběhy teplot v měřicích místech M1 a M2

Z důvodu zjištění rozdílu teploty pracovní kapaliny v obvodu pohonu dělicího kotouče byla měřena teplota v měřicích místech M1 (co nejbližší hydromotoru) a M2 (před rozvodem k hydromotoru). Rozdíl teplot bude dán třením kapaliny v obvodu. K postupnému navýšování měřené teploty, dochází po spuštění pohonu v čase  $t = 1:40$  min.



Obr. 4.13 Nárůst teploty v měřicím místě M1

### 4.3 Měření stavu pracovní kapaliny

Odborné zdroje se shodují, že až 80% poruch v hydraulických systémech je způsobeno přímým důsledkem znečištění či degradací pracovní kapaliny. Proto správná instalace, velikost a údržba hydraulické filtrace hraje klíčovou roli při plánování preventivní údržby zařízení. Je nutné se zaměřit nejen na filtraci pracovní kapaliny, ale i na její správnou provozní teplotu. Pracovní kapalinu je nutné také sledovat z důvodu degradace, kdy se negativně mění její vlastnosti.[14]

#### Pracovní kapalina v obvodu

V hydraulickém obvodu VOKA pily je použita pracovní kapalina s označením dle ISO HM 46. Jedná se o minerální hydraulický olej, jehož charakteristické parametry uvádím níže v tabulce 4.2. Hydraulický olej má v obvodu pily několik funkcí. Působí jako médium a přenáší energii, maže pohybující se díly částí obvodu, přenáší tepelnou energii, odvádí nečistoty a zabraňuje korozi. Na kvalitu a čistotu pracovní kapaliny by měly být kladeny vysoké nároky.[1]

Hydraulický olej HM 46 je konkrétně určen pro vysokotlaké hydrostatické mechanismy, které jsou vybaveny hydrogenerátory s vysokými požadavky na protiotěrové vlastnosti kapaliny. Hodí se do obvyklých podmínek k celoročnímu provozu. Olej musí mít také termooxidační stálost.[15]

Některé charakteristické vlastnosti [15]:

- dobře filtrovatelný
- velmi dobrý průběh viskozity v závislosti na změnách teploty
- nízká pěnivost
- na elastomery nepůsobí agresivně
- dobrá odlučitelnost vzduchu
- výborná degradační odolnost
- skvělé protikorozi účinky
- výborná ochrana obvodu proti opotřebení

Tab. 4.2 Charakteristické parametry oleje HM 46 [15]

Hustota při 20°C	860	[kg.m <sup>-3</sup> ]
Kinematická viskozita při 40°C	46	[mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
Viskozitní index	115	[1]
Bod vzplanutí	225	[°C]
Bod tekutosti	-27	[°C]

Negativní vlivy na vlastnosti hydraulického oleje [14]:

- **Nečistoty** – většinou klasifikujeme jako prach (<5μm) nebo jako třísky (>5μm). Tyto částice se dělí na tvrdé: křemičitany, uhlík, kovy a měkké: pryž, vlákna, organické sloučeniny.
- **Vlhkost, voda** – nejčastější příčinou je kondenzace u střídaní teplot a vlhkosti. Způsobuje kavitaci, vodíkové křehnutí, mikrotrhliny a korozi.
- **Degradace, oxidace** – při degradaci se mění vlastnosti a složení oleje, tvoří se mnoho nežádoucích produktů, např. kyselé látky, polymery, kaly a laky
- **Vzduch** – je v jakékoliv formě potenciálním zdrojem oxidace oleje

### Filtrace v obvodu

Při kontrole hydraulického obvodu pily bylo zjištěno, že je v obvodu použit jeden odpadní filtr pro filtraci oleje umístěný přímo na nádrži, typ Parker TTF610QLBP2EG203 [Příloha A]. Jedná se o filtr, jenž obsahuje filtrační vložku s hloubkovým účinkem filtrace a filtrační schopností 10μm [16]. Na filtru chyběl indikátor zanesení, proto bylo nutné příslušný indikátor v podobě manometru na filtr nainstalovat. Nainstalovaný manometr indikoval hodnotu tlaku před filtrem  $p = 0,15$  MPa. To je hodnota otevíracího tlaku obtokového ventilu, jímž je filtr vybaven. Když se filtrační vložka zanesení, tlaková diference se zvýší a dosáhne hodnoty otevíracího tlaku obtokového ventilu. Průtok ve filtru se začne dělit a olej protéká z části obtokovým ventilem a z části filtrační vložkou. Z tohoto důvodu se podstatně sníží filtrační schopnost a vložka musí být vyměněna [14]. Zanesená filtrační vložka byla tedy vyměněna za novou. Po výměně vložky indikoval manometr hodnotu pod  $p = 0,01$  MPa.





Obr. 4.14 Výměna filtrační vložky

Jediným dalším filtrem v hydraulickém systému je filtr pro čištění vzduchu vstupujícího do nádrže Parker S340056 [Příloha A]. Úroveň filtrace vzduchového filtru je  $5\text{ }\mu\text{m}$  [16].

### **Odběr vzorků kapaliny**

Místa k odběru vzorku byla zvolena dvě. Jedno se nachází těsně před odpadním filtrem, měřící místo M9, aby získaná data vypovídala o pracovní kapalině, která se vrací ze systému zpět do nádrže. Druhé měřící místo pro odběr vzorku M3 je umístěno na zpětném rozvodu z hydromotoru pohánějícího dělicí kotouč, protože je to nejvytíženější okruh v hydraulickém systému.

Vzorky z obou odběrných míst M9 a M3 byly odebrány a vyhodnocovány dvakrát s časovým odstupem. První odběr jsem provedl před výměnou zanesené filtrační vložky a druhý s dostatečným časovým odstupem po její výměně, aby se celý objem pracovní kapaliny v hydraulickém systému dostatečně profiltroval.

Při odběru vzorku hydraulického oleje je nutné postupovat naprosto precizně, protože chybný odběr vzorku často zastře hlavně skutečný stav úrovně čistoty [14]. Samotný odběr byl prováděn za maximální možné čistoty a plného provozu systému. Bylo proto docíleno řádné pracovní teploty kapaliny, která na odběrném místě dosahovala 39 °C. Nejprve se přes odběrné místo odpustilo dostatečné množství oleje (cca 200 ml) pomocí minimess hadičky, aby došlo k odloučení možných usazených nečistot v minimess přípojce. Poté se k odběrnému místu připojila speciální hermeticky uzavřená nádobka, opatřena plastovou minimess přípojkou, pomocí které proudí olej do nádobky, aniž by byla její vnitřní část, ve styku s okolním prostředím viz obrázek 4.15 níže. Takto odebraný vzorek je vhodné popsat těmito údaji: druh oleje, datum a čas odběru vzorku, místo odběru a název zařízení. Při odběrech dalších vzorků je nutné, aby byly odebrány ze stejných míst a nejlépe za stejných podmínek k možnému porovnání vývoje stavu pracovní kapaliny.



Obr. 4.15 Odběr vzorku hydraulického oleje

## Vyhodnocení stavu pracovní kapaliny

K vyhodnocení vzorků došlo v čistém prostředí pomocí zařízení Parker icountBS. Vyhodnoceny byly dle nejnovějšího standardu ISO 4406: 1999 a dle americké normy NAS 1638 [9].

Níže v tabulce 4.3 uvádím doporučené hodnoty tříd čistoty hydraulického oleje udávané výrobcem pro různé prvky v hydraulickém obvodu. Z důvodu použití proporcionálních ventilů k regulaci axiálních pístových hydrogenerátorů je nutné se řídit úrovní čistoty **17/15/12** pro ISO 4406 a třídou čistoty **6** pro NAS 1638.[14]

### ISO 4406: 1999

Tab. 4.3 Požadovaná čistota kapaliny pro hydraulické prvky dle ISO 4406: 1999 [14]

Prvky	ISO 4406:1999
Servoventily	16/14/11
Proporcionální ventily	<b>17/15/12</b>
Pístové hydrogenerátory/motory	18/16/13
Rozvaděče, ventily pro řízení tlaku	18/16/13
Zubové hydrogenerátory/motory	19/17/14
Škrťací ventily, Přímočaré hydromotory	20/18/15

Tato norma se používá pro kvantifikaci částic úrovně kontaminace na mililitr tekutiny ve 3 velikostech: částice nad 4  $\mu\text{m}$ (c), 6  $\mu\text{m}$ (c) a 14  $\mu\text{m}$ (c). Kód ISO se vyjadřuje v počtu tří číslic oddělených lomítkem (Příklad: 19/17/14). Každé číslo reprezentuje kód úrovně kontaminujících látek, pro korelaci velikosti částic. Kód zahrnuje všechny částice zadané velikosti a větší.[9]

Naměřené hodnoty počtu částic daných velikostí a z toho vycházející třídy čistoty odebraných vzorků jsem zanesl do tabulek.

Tab. 4.4 Hodnoty měření před výměnou filtrační vložky

<b>M3</b>	Částice [ $\mu\text{m}$ ]	>4	>6	>14
	<b>Třída čistoty</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>15</b>
<b>M9</b>	Částice [ $\mu\text{m}$ ]	>4	>6	>14
	<b>Třída čistoty</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>15</b>

Tab. 4.5 Hodnoty měření po výměně filtrační vložky

<b>M3</b>	Částice [ $\mu\text{m}$ ]	>4	>6	>14
	<b>Třída čistoty</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>11</b>
<b>M9</b>	Částice [ $\mu\text{m}$ ]	>4	>6	>14
	<b>Třída čistoty</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>11</b>

## NAS 1638

Další a velice často používanou normou je americká metoda NAS 1638, u které se hodnotí počet nečistot na 100 ml kapaliny. Stanovuje se u ní počet nečistot větších než 2  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ . Výhodou této normy je, že čistota oleje je uváděna v třídách 00...12. Tento žebříček tříd je snáze zapamatovatelný než výše uvedené ISO 4406.[14]

Tab. 4.6 Hodnoty měření před výměnou filtrační vložky

<b>M3</b>	<b>Třída čistoty</b>	<b>9</b>
<b>M9</b>	<b>Třída čistoty</b>	<b>9</b>

Tab. 4.7 Hodnoty měření po výměně filtrační vložky

<b>M3</b>	<b>Třída čistoty</b>	<b>5</b>
<b>M9</b>	<b>Třída čistoty</b>	<b>5</b>



Obr. 4.16 Vyhodnocování vzorků oleje přístrojem icountBS



## Kontrola degradace oleje:

Vizuální kontrola odebraných vzorků naznačuje možnou degradaci oleje. Testovaný olej je tmavé barvy s náznakem žluklého zápachu. Tyto vlastnosti naznačují možnou degradaci [14]. Naznačují ji i zachycené kaly na vnitřních částech odpadního filtru, viz obrázek 4.17. Pro důslednou kontrolu oleje jsem požádal o rozbor ve specializované laboratoři. Výsledný protokol, příkládám jako Přílohu B.



Obr. 4.17 Usazený kal na límci filtrační vložky

Výsledky rozborů hydraulického oleje v laboratoři vykazují sníženou kinematickou viskozitu  $\nu = 39,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  při  $40^\circ\text{C}$  (mezní hodnota  $41,4 \dots 50,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a obsah antioxidantů na hraniční úrovni 71,5% (min. 70%). [Příloha B]

Z důvodu značných usazenin a na základě laboratorního rozboru hydraulického oleje doporučuji výměnu jeho celého objemu a důkladné vyčištění vnitřního prostoru nádrže. S výměnou hydraulického oleje je nutné vyměnit i vložku odpadního filtru a výměnnou část vzduchového filtru. Nový olej se musí čerpat do nádrže pomocí plnicího zařízení opatřeného filtrem, jelikož dodávané nové hydraulické oleje nemusí splňovat předepsané třídy čistoty. Před uvedením hydraulického systému do provozu je vhodné provést měření pracovní kapaliny v nádrži na obsah nečistot a v případě nutnosti provést filtraci externím filtračním zařízením.

Dále ke spolehlivé údržbě stavu pracovní kapaliny doporučuji časté kontroly indikace zanesení filtru nebo by bylo vhodné opatřit odpadní filtr elektrickým čidlem zanesení a indikaci zanesení nainstalovat na ovládací pult pily.

## 5 Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval technickou diagnostikou hydraulického obvodu pily pomocí multifunkčních měřících přístrojů. Provedl jsem kontrolu hydraulického obvodu a porovnal jej s výkresovou dokumentací. Zkontroloval jsem obvod po stránce připravenosti k bezdemontážní diagnostice. Přidaná měřící místa jsem vyznačil ve výkresové dokumentaci. Provedl jsem návrh vhodných snímačů k diagnostice a následné měření s vyhodnocením měřených veličin.

Pracovní kapalina byla vyhodnocována s ohledem na obsah nečistot a na její celkový stav. V hydraulickém systému byly měřeny a vyhodnocovány tlaky a teploty v různých měřících místech označených písmenem M a pořadovým číslem.

V měřících místech nebylo zjištěno překročení požadovaných hodnot tlaků. Tlak v měřících místech M6 a M7 se blížil hodnotám nastaveným na pojistných ventilech. Na měřícím místě M7 byly v průběhu měření zaznamenány změny tlaku, jež měly strmější charakter. K těmto změnám (poklesům) tlaku docházelo při aktivaci funkce přidávání do řezu. Z tohoto důvodu by bylo vhodné provést měření plnicího tlaku plyno-hydraulického vakového akumulátoru poz. 59.4, který by měl být plněn dusíkem na plnicí tlak  $p_0 = 2,5$  MPa.

Při kontrole hydraulického obvodu bylo zjištěno zanesení filtrační vložky v odpadním filtru. Před i po výměně filtrační vložky byly odebrány vzorky pracovní kapaliny. Z naměřených hodnot odebraných vzorků před výměnou filtrační vložky byl patrný nevyhovující stav pracovní kapaliny z důvodu překročení obsahu nečistot. S novou filtrační vložkou obsah nečistot klesl na vyhovující úroveň a třída čistoty odpovídala doporučené třídě udávané výrobcem. Lze tedy konstatovat, že úroveň filtrace v obvodu je dostačující, avšak pouze s důslednou kontrolou filtračních prvků. Proto je vhodné zvážit i možnou automatizaci kontroly.

V průběhu diagnostiky hydraulického systému nedosahovaly teploty v měřících místech vysokých hodnot. Nicméně v rámci údržby vzduchového chladiče a pro zajištění jeho dobré účinnosti je vhodné čistit chladicí lamely stlačeným vzduchem.



Pracovní kapalina byla laboratorně testována z důvodu získání informací o jejím celkovém stavu. Byla však zjištěna nevyhovující kinematická viskozita a obsah antioxidantů dosahoval hraniční úrovně. Při výměně filtrační vložky v odpadním filtru, byly patrné nánosy kalů na ocelovém límci filtru. Na základě těchto zjištění byla doporučena výměna pracovní kapaliny.

Po provedení diagnostiky hydraulického systému pily, vyhodnocení naměřených dat a výměně filtrační vložky nejsou patrné žádné mezní hodnoty měřených veličin a zařízení lze z tohoto hlediska dále provozovat.

## 6 Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 159 s. ISBN 80-030-0308-3.
- [2] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy: Díl 1*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1999. 158 s. ISBN 80-707-8620-5.
- [3] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy: Díl 2*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [4] SCHMITT, A. a kolektiv. *Příručka hydrauliky*. Svazek 1. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1981. 226 s. ISBN 3-8023-0619-8.
- [5] SCHMITT, A. a kolektiv. *Příručka hydrauliky*. Svazek 2. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1986. 236 s. ISBN 3-8023-0898-0.
- [6] PARKER HANNIFIN. *Základy tekutinových mechanismů*. Praha, 2005. Bulletin 0239-B1/CZ.
- [7] WILL, D. a GEBHARDT, N. *Hydraulik: Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, 5. vyd. 510 s. ISBN 978-364-2172-427.
- [8] *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2014, roč. 2003, č. 05. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28810](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28810)
- [9] PARKER HANNIFIN. *IcountBS Bottle Sampler Manual*. UK, 2012. Dostupné z: [http://www.parkerhfde.com/pdf/conmon/icountbs/DD0000014\\_EN.pdf](http://www.parkerhfde.com/pdf/conmon/icountbs/DD0000014_EN.pdf)
- [10] PARKER HANNIFIN. *Service Master Plus*. Ver. 1.0 První vydání. Česká republika, 2009. Dostupné z: <http://www.parker.cz>
- [11] PARKER HANNIFIN. *The Service Master Plus*. BUL/4067. UK, 2009. Dostupné z: <http://www.parker.com>

- [12] MBS-AG. *Kabelumbau-Stromwandler (KBR/KBU)*. Sulzbach-Laufen, 2014.  
Dostupné z: <http://www.mbs-ag.com/MediandoWEB>
- [13] WEIGEL MEßGERÄTE GMBH. *Transducers for Current, Voltage requiring Auxiliary Supply*. 068.8e. Nürnberg, 2010.  
Dostupné z: <http://www.weigel-messgeraete.de>
- [14] PARKER HANNIFIN. *Příručka filtrační techniky*. FDHB289CZ. Praha, 2008.  
Dostupné z: <http://www.parker.cz>
- [15] PARAMO A.S. *Technické informace: Mogul HM*. Pardubice, 2004.  
Dostupné z: <http://www.paramo.cz>
- [16] PARKER HANNIFIN. *Hydraulic and Heavy Duty Filtration and Contamination Control*. FDHB500UK. UK, 2011.  
Dostupné z: <http://www.parker.com>

## **7 Seznam příloh**

Příloha A Schéma hydraulického obvodu 1-KS-307206-3775/a

Příloha B Protokol laboratorního rozboru hydraulického oleje HM46

Příloha C Souhlas provozovatele diagnostikovaného zařízení

Příloha D Prohlášení o povolení použití interní dokumentace

Příloha E CD-ROM Obsahující elektronickou podobu bakalářské práce